



1. はじめに

前号では、人間の意志をロボットに伝えて力を増幅する装着型の人形ロボットをご覧頂いた。今回は、油圧ショベル（バックホウ）を対象に、ロボット化等の研究事例を紹介する。油圧ショベルは、下項の理由で、世界中の大学や研究機関で操縦の容易化、自動化の研究が行われている。

- ① 円弧運動するブームとアームの動きの組み合わせで直線掘削を行う操作の習熟に時間が掛かるため、操縦の容易化への期待が大きい。
- ② 汎用建機の過半を占めるポピュラーな建機で、操縦の容易化等の経済効果が大きい。
- ③ 各種バケット、把持、破碎装置など様々な作業装置があり、人力作業の機械化に最も有効な建設機械である。
- ④ ブーム、アーム、バケット、旋回の動きが人の腕の動きを想起させるため、ロボット化研究の意をそそられる。

⑤ 工場で腕構造を持ったロボットが多用されており、制御技術の基盤が整っている。

図1 建設機械の構造と高度化研究領域例を示した。図中の黄色部が標準の機械、その他の部分が、操縦支援やロボット化等に係る研究課題である。基本改造部は、遠隔操縦や自動運転を行う場合に走行装置や作業装置を電気信号で動く様に改造する部分である。

2. 油圧ショベルの高度化研究例

表1に、大学や公的研究機関による油圧ショベル高度化の研究の目的や課題、表2に、ロボットバックホウの研究を行っている大学や公的研究機関、研究者、研究内容を示す。研究の目的には、操縦が難しいとされている油圧ショベルを初心者でも容易に運転できる様にする（操縦支援）、建機を改造せずに遠隔操縦や自動化を可能とする（操縦代行）、ロボット化がある。これらに対応し、研究課題も多様である。

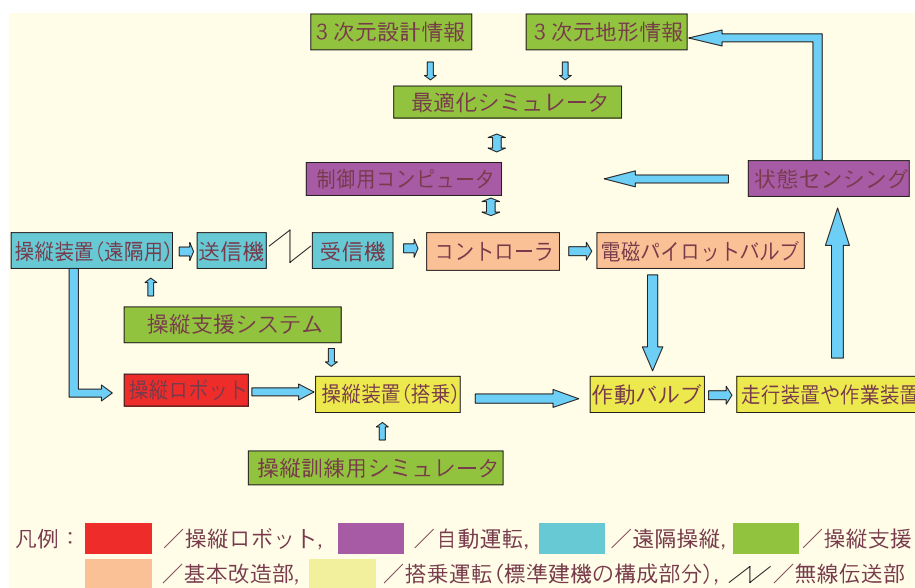


図1 建設機械の構造と高度化研究領域例

表2 ロボットバックホウの研究を行っている大学や公的研究機関

研究機関	研究者別	研究内容	備考
1 秋田大学 東急建設(株)	資源学部機械工学科 大日方五郎教授	機能的電気刺激により作業反力をオペレータに伝える。反力付与機構が不要	
2 (独) 土木研究所	技術推進本部 先端技術チーム 山元弘主席研究員	3次元情報土木施工への活用と油圧ショベル自律化への基礎技術開発 (総合技術開発プロジェクト ロボット等によるIT施工システムの開発)	
3 筑波大学 産業技術総合研究所 千葉工業大学	システム情報工学科 坪内孝司教授 知能システム研究部門 血田滋研究員 未来ロボット技術研究センター 小柳栄次副所長	プレーカ作業自動化の基礎研究として、小割作業の状態遷移、作業フローの解析と改善案の提示	11SCR
4 千葉工業大学 前東北大学	未来ロボティクス学科 中野栄二教授	油圧ショベルのイージーパーペレーション化のための力帰還型のモノレバー型半自動操作装置	
5 東京大学 (独) 土木研究所	人工物工学研究センター サービシス工学研究部門 浅間一教授	オペレータ技能定量化：熟練者は複雑な操作を単純化し、バケット軌跡のバラつきが少ない/自動化の為の基礎研究	
6 早稲田大学 日立建機(株)	理工学部機械工学科 菅野重樹教授	双腕建機用操作技能訓練シミュレータの開発	
7 東京工業大学	精密工学研究所 川嶋健嗣准教授	空気圧ゴム人工筋型6自由度ヒューマノイド形ロボットアームの開発	
8 武蔵工業大学	機械システム工学科 高機能機械制御研究室 鈴木勝正教授, 野中謙一郎准教授	パワーショベルの自動運転と振動制御 ロバスト制御	
9 慶応義塾大学 鹿島建設(株)	理工学部システムデザイン工学科 大西公平教授	バイララルロボットシステムのリアルタイムネットワーク系の時間遅れに対処するための伝送順位の評価。ネットワーク処理のリアルタイム性を向上したプロトコルスタックを開発	23 ISARC
10 東京工科大学	金子洋平	電子油圧ハイブリッド制御, 油圧ショベル自動操縦ロボット開発の基礎研究	
11 (独) 空港港湾技術研究所, 筑波大学 佐伯建設工業(株)	施工・制御技術部 制御技術研究室 田中敏成研官, 平林文嗣研官	水中バックホウマンマシンインターフェース (触覚・視覚情報, ワンレバー等), 水中での可視化	
12 岐阜大学	人間情報システム工学科 山田宏尚	バーチャルリアリティ。力覚提示機能を有する遠隔操作建設ロボットシステムの操作性評価 (カメラ映像による遠隔操作ロボットシステムに力覚提示機能を備えた場合の操作性評価)	
13 福井工業大学	原子力技術応用工学科 新谷裕和教授	バーチャルリアリティ。力覚提示機能を有する遠隔操作建設ロボットシステムの操作性評価 (カメラ映像による遠隔操作ロボットシステムに力覚提示機能を備えた場合の操作性評価)	
14 産業技術総合研究所 川崎重工業, 川田工業(株) 東急建設(株), 京都大学	知能システム研究部門 京都大学大学院工学研究課機械工学専攻 横小路泰義准教授	人間型ロボット表現に向けた研究の一環として、産業車面の代行運転が行われている。 (独) 新工ネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が研究支援を行っている	
15 京都大学 (株) テムテック	大学院工学研究科機械工学専攻 横小路泰義准教授	双腕ロボット「援竜」, マスタースレーブ方式の遠隔操作装置, 腕部に同期動作制御装置を開発。九州工業大学, 福岡工業技術センターが協力	
16 大阪大学 コヘルコ建機(株)	大学院基礎工学科 新井健生教授	油圧ショベル用レバー法面仕上システムの開発研究, フォジィ推論を用いた油圧ショベルの作業判別	

屋などの分別解体等を想定して開発した機能である。

(2) 秋田大学 作機能的電気刺激による業反力の検知

遠隔操縦時には、搭乗運転の様に作業装置の動きや作業対象物と接触した感触が把握できない。生産性を確保するためには、遠隔操作卓で搭乗運転と同等の感覚で操縦可能な臨場環境を創り出す必要がある。その手段の一つである作業反力は、従来、操縦桿にアクチュエータを追加してオペレータに知らせていたが、操作部の機構が大きく複雑になる問題があった。

この問題を解決するため、バイラテラル（双方向に情報伝達のある）制御に機能的電気刺激の技術を付加し、操縦桿は改造せず、皮膚表面に接触させた電極で筋肉を電氣的に刺激して作業反力をオペレータに伝える方式が考案された。新方式の特徴として下記が想定される。

1. 操作部（ジョイスティック）の改造を必要としない
2. 複数の機械に同時対応可能（遠隔操縦）
3. 力出力の個人別、作業対象別調整が可能
4. 複数の筋肉への異なる刺激ができるため複雑な作業ロボットへの適用が可能

（電極貼付対応部位は、バケツは右手長橈側手根伸筋，アームは左手長橈側手根伸筋，ブーム

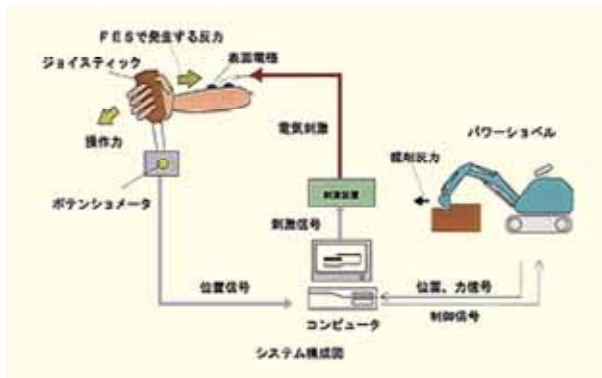


図5 作機能的電気刺激による業反力の検知



写真3 モニター画面，ジョイスティック，電極から構成される操作部

は右手尺側手根屈筋，など)

(3) 武蔵工業大学 作業精度向上のための揺動補正

作業機構が機械本体から張出して作業を行う油圧ショベルは、作業時の反力等により支持部が揺動し、作業端の位置ずれを生じる。ロボットショベルの施工精度を維持するためには、揺動の補正を行う制御系の構築が必要である。制御系の構築と実証を目的とした実験では、レーザ測位器を用いた機械揺動の3次元的な把握、揺動を補正する制御系の構築、計測及び制御系の効果確認を行っている。

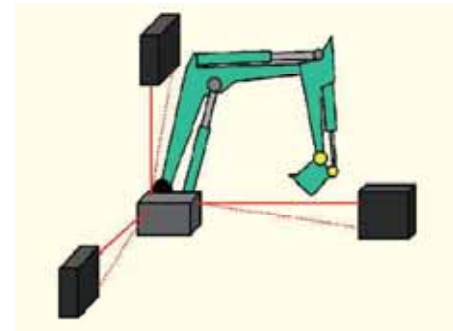


図6 レーザによる揺動測定



写真4 揺動補正実験

(4) 関西大学 冗長性を有するリンク機構の障害物回避

人間の腕に似た多軸複合構造を持つ油圧ショベルは、4～6自由度を有している。複雑な作業を行う事ができるが、自由度に応じたアクチュエー

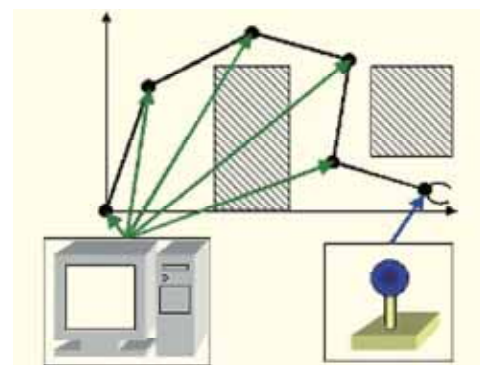


図7 障害物回避システム

タの個別同時操作が必要で、高度な操縦技能が求められる。

障害物が存在する空間では、障害物を回避しつつ、複雑な操縦を行って作業を行っている。

この様な環境下でのオペレータの負担増を解消するために、障害物回避などを自動化したハイブリッドなシステムの構築を試みている。オペレータが作業に専念できれば、安全性、生産性双方が確立できる。油圧ショベルの遠隔操作などに於いて、特に有用なシステムである。

(5) 東京大学 油圧ショベル自動化の為の熟練オペレータ技量の定量化

油圧ショベルの自動化システム構築の前提となる最適運転手法を確定、ロボット油圧ショベルの在るべき制御手順を確定するために、熟練オペレータ（経験年数：10年）、非熟練オペレータ（経験年数：2ヶ月）の操作過程の計測と分析を行った。対象とした作業は、平坦地掘削作業である。計測項目は下項である。

- ① 可動関節角度………ポテンショメータ
- ② 操作レバー動作量…ポテンショメータ
- ③ 油圧シリンダ内圧…圧力センサ
- ④ 動作手順観察………ビデオカメラ

実験の結果、下項が明らかとなった。

- ① バケット先端の軌跡：熟練オペレータはサイクル毎に一定、非熟練オペレータはばらついてる（複雑な操作を単純化、定型化している）

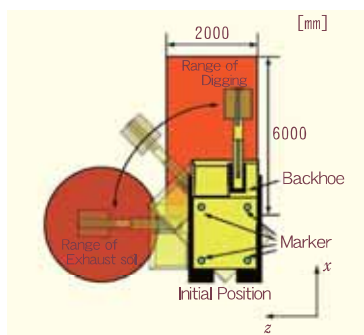


図8 作業内容

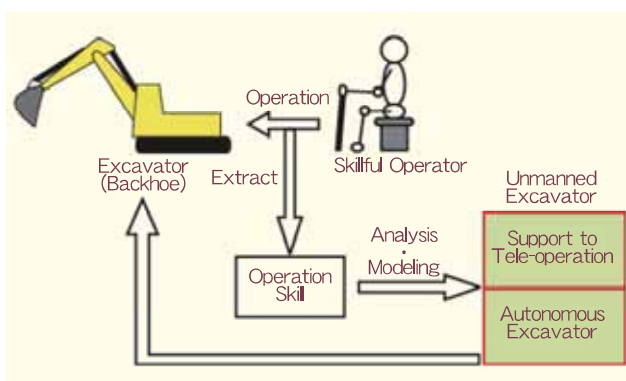


図9 ロボットバックホウへの技量注入

- ② 各可動関節の角度：熟練オペレータは動作角度が大きく、非熟練オペレータは小さい

(6) 慶応大学 系の時間遅れに対処するための伝送順位の評価

遠隔操作における操作性を向上するために、機械搭載センサ出力信号の帰還の遅延が問題となる。通信遅延が大きいと制御系が不安定になる。本研究では、作業端の触覚（反力）のリアルタイム帰還を目的に、OS 内部ネットワークの改良を行い、機械制御系とネットワーク処理を同等の優先度で実行してリアルタイム性を確保した。

改良システムを用い開発したネットワークをロボット制御（マニプレータ制御）に適用するための実験として、バイラテラル（双方向の情報伝達がある）ロボットシステムを用いた触覚（力センサ）、各関節の角度情報（エンコーダ）の転送実験を行った。

開発した伝達制御手順（プロトコル）は高負荷でも遅延・ジッタ（揺らぎ）が共に少なく、有効性が確認された。

(7) 岐阜大学

遠隔操作型ロボット建機に、力覚提示機能等を含めたバーチャルリアリティ（VR）技術を導入した仮想現実空間により、オペレータに作業現場の臨場感を与える。VR 技術、コンピュータ支援に基づく高度で精密な作業を実現する。カメラ映像と力覚提示機能を備えた場合の遠隔操作建設ロボットシステムの操作性評価、研究課題として下項がある。

- ① ロボット建機の作業端の反力（力感覚）をオペレータに帰還するための油圧マスタ・スレーブ制御法
- ② カメラ画像とコンピュータグラフィックス（CG）技術を用いてオペレータに視覚情報を効率的に与えるための研究
- ③ オペレータにロボット建機と同じ動きをリアルに体感させ、建機に搭乗して操縦している感覚を与える3軸揺動装置の研究



写真5 作業反力帰還実験に用いたスレーブ機械

表3 ロボQ及びALDシステムの仕様比較

略称	ロボQ	ALDシステム Active Lever Drive Control
システム名称	簡易遠隔操縦装置	直動式遠隔操作システム
アクチュエータ	空圧シリンダ	リニアステッピングモータ
操縦実績	油圧ショベル, ブルドーザ, クローラダンプ	油圧ショベル, ブルドーザ
在籍台数	15	2
実績	普賢岳総合治山	宮の平宅地造成, 国立西洋美術館, 碧南火力発電所, 普賢岳総合治山
開発者	国土交通省九州地方整備局, (株)フジタ	清水建設(株), 西尾レントオール

設置型操縦ロボットによる遠隔操縦を行う場合、ロボットの操縦腕の動き量（ストロークや回転角度）と操縦する建機（型式）毎の操縦桿の動き量との整合調整が必要である。工場等で予め動き量の整合調整を行っておけば、現地での調整が不要である為、ロボットの搬送と設置に要する1～2日間で無人化施工を開始できる。

主要機器は下記の構成で、1～2名で持ち上げられる様、複数ケースに分散収納されている。

- ① 遠隔操縦装置（操縦桿と無線送信機を収納した遠隔操縦装置）
- ② 建機の操縦席に設置する操縦ロボット（無線受信装置とコントローラ）
- ③ 建設機械の操縦桿を動かすプッシュ・プルケーブルや旋回機構
- ④ プッシュ・プルケーブルや旋回操縦機構を動かすリニアステッピングモータやエアークチュエータなど

設置型操縦ロボットによる建機の操縦方法標準建機の操作要領と同じで、遠隔操縦装置の操縦桿（ジョイスティックレバー）を操作（JISパターン）すると、操作信号が建機本体に設置した無線受信装置を経由コントロールボックスを介してリニアステッピングモータやエアークチュエータに送られる。リニアステッピングモータやエアークチュエータがプッシュプルケーブルを押し引きして建機の操縦桿を直接動かして機械を稼働させる。表3に、操縦ロボットとして実用化されている、ロボQ及びALDシステムの仕様を示す。

(3) 設置型操縦ロボットの研究例

① 東京工大 川島準教授

2次災害の危険性を伴う災害救援や復旧作業において、作業員が危険な場所に立ち入らずに作業を行うためには建機の遠隔操縦が必要である。緊急時に機種を問わずに操縦席に簡単に取付けられ、本体の改造をせずに建機の遠隔操縦を可能とする遠隔操縦装置を実現するために、人間とほぼ同様の動作が可能なロボットアームを開発した。

軽量の空気圧ゴム人工筋を用いたアクチュエータは可搬性に優れ、関節部の駆動は2自由度モジュールの平行リンク機構を3個組み合わせたロボットアームを用いている。

エアシリンダの差圧を用いて操作力を推定する、力センサを用いずに力覚提示機能を有するマスタースレーブシステムを実現した。建機の熟練オペレータの操縦動作の計測手段としても利用可能である。



写真7 ゴム人工筋を用いたロボットシステム



写真8 建機での実証実験



写真9 建機への装着状況

② 国土交通省九州地方整備局九州技術事務所・フジタロボQ (簡易遠隔操縦装置)

設置型操縦ロボット「ロボQ」は、国土交通省九州地方整備局九州技術事務所と㈱フジタによる共同研究の成果である。下項の特長を有している。

- ・油圧ショベル、ブルドーザ、クローラダンプトラックの遠隔操縦ができる。
- ・メーカーや型式を問わず殆どの油圧ショベル、ブルドーザ、クローラダンプトラックに装着できる。
- ・油圧ショベル、ブルドーザ、クローラダンプトラックへの着脱が、短時間で簡単にできる。
- ・持ち運びが楽なサイズに分割できる。
- ・モニタリング装置により、遠く離れた場所からも容易に操縦できる。



写真10 ロボQ



写真11 ロボQ装着状況



写真12
モニタリング装置

③ ALD システム (直動式遠隔操作システム)

ALD (Active Lever Drive Control System) システムは、清水建設㈱と西尾レントオールが共同で開発した。

オペレータの作業環境や安全面の確保を目的とした建機のリモコン化が短時間、低コストで可能である。

ALD システムは下項の特徴を有している。

- ・標準建機の油圧装置系等の改造を行わないため、当該建機の速度・操作力・微操作・複合操作等の機能と操作感覚を損わない。
- ・油圧系など本体の改造が不要でシステム取付けが容易。
- ・プッシュプルケーブルを介しての作動のため、機器の設置場所が自由に選べる。
- ・操縦桿の操作パターン異なる建機への装着が



写真13 ALD による施工 (国立西洋美術館)

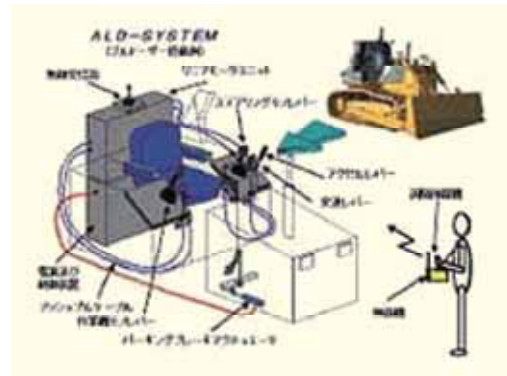


図11 ALD システム

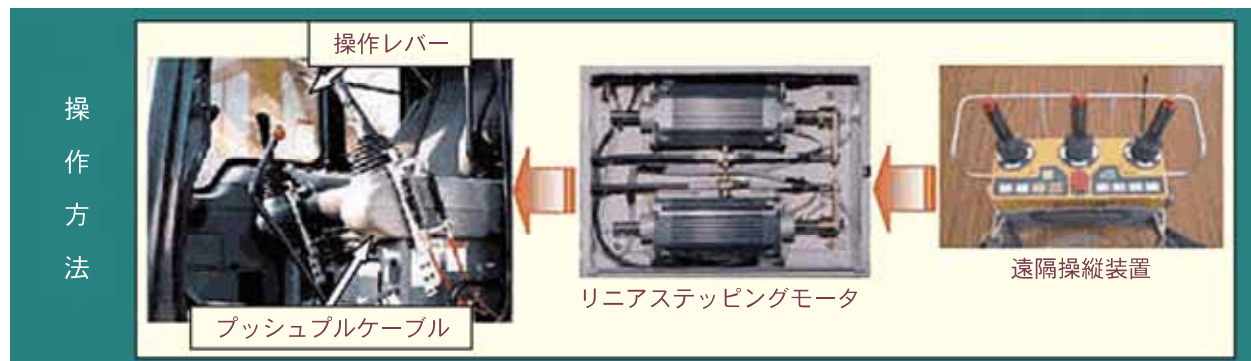


図12 ALD システムの機器と機能構成



写真14 ブルドーザへのALDの装着

可能。

- ・切換スイッチで「遠隔」・「搭乗」操作の切り換えが簡単にできる。
- ・ブルドーザにも搭載が可能。

3.2.2 京都大学：建設機械を操縦する人形自律ロボット

緊急時に建機の代行運転を行うためには、搭乗時に設定と調整が不要な乗り込みと操縦の両機能を具備した自律型操縦ロボットが好ましい。自律機能を持った操縦ロボットの実現には下項等の技術開発が求められる。

- ① 不整地歩行や建機への乗り降りが可能である。
- ② 災害出動等の対象となる建機に就いて操縦手順を熟知している。



写真15 作業装置を持つ人間型ロボット HRP-3

- ③ 作業目的と作業対象を理解し、最適な手順で作業を行う事ができる。
- ④ 操縦する建機が、同一現場で稼働する機械や作業員との衝突を回避できる。
- ⑤ 作業手順等の変更教示やオペレータが遠隔操縦するための無線遠隔操縦機能を有している。
- ⑥ 屋外の環境や建機の振動に耐えられる。

人間型作業ロボットの研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が2002年から5ヵ年計画で、「基盤技術研究



写真16 人間型ロボット HRP-3用遠隔操縦装置



写真17 人間型ロボット HRP-3による橋梁模型でのボルト締結実験

促進事業『実環境で働く人間型ロボット基盤技術の研究開発 (HRP: Humanoid Robotics Project)』を実施している。このプロジェクトには、京都大学、産業技術総合研究所、川崎重工業(株)、川田工業(株)、東急建設(株)の共同研究が進められた。京都大学は、動作教示技術を担当した。

この研究開発の一環として、建機の代行運転の実験が実施されている。建機の代行運転の実験に用いられた人形ロボットは、身長160cm、体重117kgである。実験では、クレーンで人形操縦ロボットを油圧ショベルの運転席前に起立した姿勢で設置し、遠隔操縦による着座と建機の操縦を行った。操縦実験では、着座した人形操縦ロボットが、油圧ショベルの走行レバー、ブーム及びアーム操作レバーを操作し掘削、旋回、排土する一連の作業を実施した。

上記の人形ロボットを用いて、建物の壁面パネルを、片方を人間が、片方を人形ロボットが担いで目的地まで運ぶ、運んだパネルを壁面に設置する、大型土木構造物(橋梁模型)のボルト締めを行なう等、人間との共同作業分野での活用を前提とした実験も行われている。

4. 双腕ロボット

油圧ショベルが2本の腕を持っていれば、資材の運搬・設置・締結などの一連の作業を1台の建機で行う事ができる。危険物ハンドリング、家屋や自動車等の解体作業、産廃処理、大型土嚢の製作や設置など災害救助・復旧等の様々な分野への適用が可能である。

操縦系のモノレバー化が進めば、一人で2本のアームを操縦して1本腕では難しい作業をこなす事ができる。現場作業の機械化や効率化の観点から、双腕作業機(マルチアームロボット)が一般化する可能性がある。

4.1 京都大学双腕ロボット「援竜」

2004年に「T-52援竜」が開発され、防災向けのデモンストレーションを行った。2008年、小型で機動性が高い「T-53援竜」を開発した。油圧駆動により、片腕で100キログラムまでの物体を持ち上げることができる。京都大学が協力、腕部に“同期動作制御”を導入。オペレータはジョイスティック方式でより直感的に作業を行えるようになった。

動力源はディーゼルエンジン。「T-53援竜」は、ウィンカー、ブレーキランプ、ヘッドライト



写真18 「T-52援竜」 操縦席



写真19 「T-52援竜」



写真20 「T-53援竜」 操縦装置



写真21 「T-53援竜」

表4 援竜の仕様

		T-52 援竜	T-53 援竜	
全高		3.45m	2.8m	
体重		5 t	2.95 t	
自由度	腕	7×2	6×2	
	手	1×2/開閉	1×2/開閉	
CCD カメラ	画素数	68万	38万ズーム	25万
	台数	9+1(暗視) 計10台	1台	6台

等の小型特殊自動車としての装備を加え、ロボットでは初めて車両ナンバーを取得。レスキューロボットとして災害現場での救助活動の他、建設現場や廃棄物リサイクルなど危険を伴う現場での活用も想定される。

4.2 早稲田大学 双腕建機

操縦の難しい2本の腕（フロント）を持った双腕建機の操縦法を効率的に習得するために、双腕建機のトレーニングシミュレータを開発した。シミュレータによる訓練で、様々な作業局面での操縦スキルを体得できる。1本の操作レバーで建機の1本の腕を操作できるワンレバーを採用し、オペレータ1人で両腕の同時操作を可能とした。その他、操作方式、レバーの構成・配置の工夫により、オペレータによる直感的な操作を実現、長時間作業時の疲労軽減を図った。

オペレータの指示に従って作業装置の把持力の制御ができる把持力制御機能も有しており、「軟

らかく壊れやすい対象物の把持」などの繊細な作業が実現できる。

大出力による従来型の把持作業も可能で、繊細さとパワーを両立した作業が実現した。2つのフロントを有し、「掴みながら対象物を切る」「支えながら、対象物を引っ張り出す」「長い対象物を折り曲げる」「片手で土のう袋を開いて、片手で土砂を詰める」といった、より複雑な作業が可能である。

操作方式、レバーの構成・配置などを工夫する

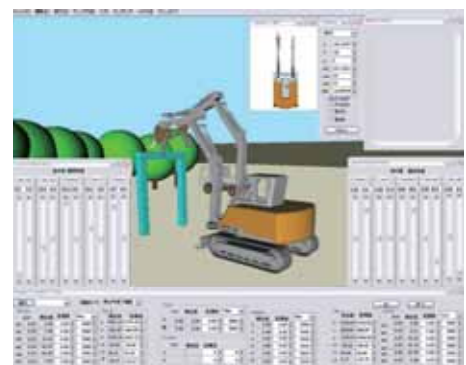


図13 双腕建機のトレーニングシミュレータ



写真22 双腕油圧ショベル

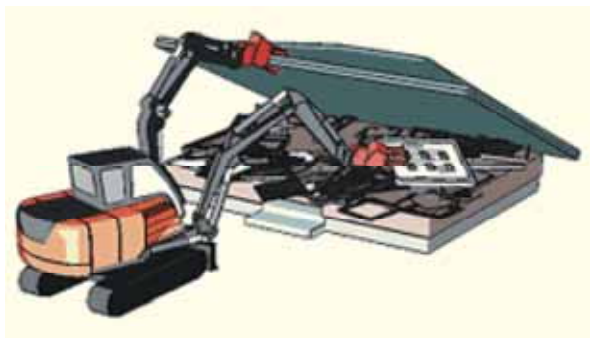


図14 双腕建機による作業イメージ

ことによって、オペレータによる直感的な操作を実現し、長時間作業時の疲労軽減を図っている。

5. おわりに

人の腕に似た作業機構を持つ油圧ショベル（バックホウ）は、アームの先端に個々の作業に合った作業機を装着する事で、人力作業を機械化する手段として使われてきた。バックホウロボットが実現すれば、少子化による作業不足が解消する。

ロボット化への研究は、現時点では作業装置の自動化に留まっているが、大学や研究機関が相互に重複しない効率的な研究を進めれば、2010年代初頭のロボット実現も夢では無い。海外の大学・研究機関との交流も必要である。ロボットの実現で運転席が不要となり、写真24及び写真25の様な運転席のないスマートで効率の良い建機が実現する。



写真23 ブロックマニピュレータ（コンクリート2次製品据付ロボット国土交通省 1987年）



図15 双腕建機による解体作業



写真24 土嚢設置ロボット



写真25 コンクリート吹付けロボット

【参考資料】

- 中野栄二, 久武経夫「油圧ショベルのイーゲーオペレーション化のための操作装置」建設の施工企画 2005. 2
- 大西公平, 他「リアルタイム性の高いネットワークの開発とロボット制御への応用」鹿島技術研究所年報 第50号 2003. 9. 30
- 藤田志朗, 他「大型レスキューロボットの開発－「T-52援竜」」建設の施工企画 2006. 11
- 菅野重樹, 他「双腕建機における操作技術訓練用シミュレータの開発～訓練効果の検証および操作補助手法の検討」第11回建設ロボットシンポジウム 論文集 2008. 9
- 山元 弘, 他「油圧ショベルの自律化に向けた基盤研究について－ロボット等による IT 施工システムの開発－」第11回建設ロボットシンポジウム 論文集 2008. 9
- 田中敏成「水中バックホウを利用した水中作業の無人化に関する取り組み」建設の施工企画2007. 12
- 田上幸雄「遠隔操縦ロボット（ロボQ）の開発と施工効率」建設の施工企画 2004. 1
- NEDO「第1回 人間協調・共存型ロボットシステム研究開発」（事業評価）分科会 資料4-2 「プロジェクトの全体概要」
- 横井一仁「建設作業に人間型ロボットは使えるか」建設の施工企画 2004. 1

【出典】

写真1 // 2 図 3 // 4	http://www.topic.ad.jp/sice/papers/217/217-5.pdf#search='モノレバー' http://www.actec.or.jp/blog/archives/2005/08/post_199.html
写真3 図 5	http://const.tokyu.com/topics/1998/topics_03.html
写真4 図 6	http://www.cl.mes.musashi-tech.ac.jp/abstracts/ps1.htm
図 7	http://www2.ipcku.kansai-u.ac.jp/~awa/robot.html
図 8 // 9	http://www.race.u-tokyo.ac.jp/~asama/research_page/poster_pdf/sakaida.pdf#search='
p. 5 (6)慶応大学	http://www.jpo.go.jp/shiryousonota/hyoujun_gijutsu/high_advanced_constructor/kenki_2_2_2_3.html
写真5	http://www1.gifu-u.ac.jp/~ymdlab/
写真6 図 10	http://www.actec.or.jp/blog/archives/2007/09/it.html http://www.cmi.or.jp/new/11-4.pdf#search='ロボット等によるIT施工システムの開発'
写真7 // 8 // 9	http://www.k-k.pi.titech.ac.jp/research/robot_j.html http://www.rescuesystem.org/ddt/H14-report/web/3_6_2tit_kawashima.pdf#search=' http://www.titech.ac.jp/publications/j/chronicle/387/387-17.htm
写真10 // 11 // 12	http://www.qsr.mlit.go.jp/kakoku/topics/lineup/sonota/16.html http://www.qsr.mlit.go.jp/kyugi/development/robo_bull/ http://www.kasen.net/equip/remocon/index.htm
写真13 // 14	http://www.shimz.co.jp/tw/tech_sheet/rn0200/rn0200.html http://www.jpo.go.jp/shiryousonota/hyoujun_gijutsu/high_advanced_constructor/kenki_2_2_2_2.html
p. 9 3.2.2京都大学	2003. 7 http://www.nedo.go.jp/iinkai/hyouka/bunkakai/15h/36/1/4-2.pdf#search='HRP'
写真18 // 19	http://plusd.itmedia.co.jp/lifestyle/articles/0707/18/news054.html http://www.tmsuk.co.jp/lineup/t53_enryu/index.html
写真20 // 21	http://plusd.itmedia.co.jp/lifestyle/articles/0403/26/news001.html
図 14 // 15	http://www.sugano.mech.waseda.ac.jp/~ysuga/files/coe_sugano_lab2.doc http://www.hitachi-kenki.co.jp/company/profile/research/machine.html